

Rec'd PCT/PTC 10 MAY 2005

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 04 FEB 2004
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen: 102 53 891.3

Anmeldetag: 18. November 2002

Anmelder/Inhaber: NanoFocus AG, Duisburg/DE

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei konfokalen Mikroskopen mit Multi-Pinhole Filterung und zur Messung von Oberflächen an Zylinderinnenwänden mit konfokalen Mikroskopen

IPC: G 02 B, G 01 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

Agurka

Vorrichtung und Verfahren zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei konfokalen Mikroskopen mit Multi-Pinhole Filterung und zur Messung von Oberflächen an Zylinderinnenwänden mit konfokalen Mikroskopen

Das hier beschriebene Verfahren dient zur Reduzierung von Lichtreflexen und Streulicht bei rechnergesteuerten konfokalen Mikroskopen. Wenn der Beleuchtungsstrahl und der Detektionsstrahl durch dasselbe Pinhole gelangen, besteht eine erhöhte Anfälligkeit der Messapparatur auf entstehende interne Lichtreflexe und Streulicht.

Bei der Verwendung von sich bewegenden Lochmusterscheiben als Multi-Pinhole wird der detektierbare Nutzlichtanteil um den Lochbedeckungsgrad reduziert. Dieser beträgt geometrisch bedingt z.B. etwa 0,01 bei einem Lochdurchmesser von 20µm und einem mittleren Lochabstand von 200µm. Die vor der Scheibe entstehenden Reflexe sind demnach 100-fach überhöht und können das Signal-Rausch-Verhältnis eines konfokalen Mikroskops deutlich reduzieren.

Darüberhinaus wird hier ein Verfahren zur zerstörungsfreien 3D-Inspektion von Innenwänden, speziell Zylinderinnenflächen, mit rechnergesteuerten konfokalen Mikroskopen vorgestellt. Besonders in der Automobilindustrie ergibt sich für dieses Verfahren ein großer Markt, da besonders die Zylinderinnenflächen sich für die Motorenmechanik als kritische Elemente erweisen.

Bisher sind Lösungen für taktile Verfahren und abbildende Mikroskope bekannt. Die taktilen Verfahren haben den Nachteil, dass sie die Oberfläche scannen und dadurch relativ langsam arbeiten. Abbildende Mikroskope haben bisher den Nachteil, dass sie keine dreidimensionalen Daten erzeugen können. Hier wird ein Verfahren zur dreidimensionalen Messung an Zylinderinnenwänden mit rechnergesteuerten konfokalen Mikroskopen beschrieben.

Die hier vorgestellte Erfindung hat den grundlegenden Vorteil, dass man zerstörungsfrei und vergleichsweise schnell dreidimensionale Abbildungen von Zylinderinnenflächen mit beugungsbegrenzter lateraler Auflösung durchführen kann. Der Tubus des konfokalen Mikroskops kann in nahezu voller Länge in Zylinder mit einem minimalen Durchmesser von 79 mm versenkt werden. Mithilfe dieser Erfindung kann man in Zylindern bis zur maximalen Eintauchtiefe von zur Zeit 100 mm konfokale Oberflächenbilder zerstörungsfrei aufnehmen.

Eine spezielle Führung verhindert Beschädigungen am Tubus und ermöglicht die vertikale und horizontale Justage des Beobachtungsbereichs. Durch eine Rotationsbewegung im Zylinder kann nahezu die gesamte Zylinderinnenfläche vermessen werden.

Neben der Vorrichtung und dem Verfahren zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei konfokalen Mikroskopen wird hier ein Spezialtubus beschrieben, der den üblicherweise verwendeten Mikroskopertubus ersetzt, und ein Haltemechanismus, der das konfokale Mikroskop auf dem Zylinder befestigt und auch als Justiereinheit dient. Der Aufbau des Grundkörpers bleibt dabei weitgehend unangetastet.

Die Erfindung löst diese Aufgaben mit den Merkmalen des Anspruchs 1, 8 und 11.

Vorrichtungsmäßig werden die Aufgaben mit den Merkmalen des Anspruchs 2, 3, 9, 12 und 21 gelöst.

Es zeigen:

Fig. 1) Üblicher Strahlengang zur Separierung von Beleuchtungs- und Detektionsstrahl mit einem Strahlteilerwürfel

Fig. 2) Strahlengang zum Ausblenden von Lichtreflexen mit einem Strahlteilerwürfel

Fig. 3) Strahlengang zum Ausblenden von Lichtreflexen mit einem Strahlteilerquader

Fig. 4) Blendenanordnung zur Reduzierung von Streulicht und Lichtreflexen

Fig. 5) Prinzipskizze zum konfokalen Mikroskop mit Umlenkoptik zur Beobachtung von Zylinderinnenflächen

Fig. 6) Prinzipskizze der Halterung und Justiereinrichtung zum Einbau des konfokalen Mikroskops in Zylinder

Fig. 1) zeigt den üblichen Strahlengang zur Separierung von Beleuchtungs- und Detektionsstrahl mit einem Strahlteilerwürfel. Dieser basiert auf einem vor dem Pinhole (2) befindlichen Strahlteiler E, der einfallendes (1) und zu detektierendes Licht (3) trennt. Der Strahlteiler ist so orientiert, dass das Licht senkrecht zu den Oberflächen (A,B,C,D) einfällt. An jeder Grenzfläche zwischen Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex treten auch bei Verwendung von Vergütungen zur Entspiegelung die rot gestrichelt dargestellten

Reflexionen auf. Diese haben dieselbe Ausbreitungsrichtung wie der blau strichpunktiert dargestellte Nutzlichtanteil.

Diese gleichen Eigenschaften sind ungünstig für eine räumliche Trennung beider Lichtanteile. Deswegen müssen momentan Strahlteilerwürfel mit sehr guten Separierungseigenschaften der strahlteilenden Schicht E und sehr guten Antireflexionsbeschichtungen der Flächen A,B,C und D verwendet werden. Entstehende Lichtreflexe gelangen mit nahezu voller Intensität auf den Detektor. Diese Problematik hat ein schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis der Messauswertung zur Folge, welches sich in Rauschanteilen der berechneten Oberflächentopographie äußert.

Bisher mussten zur Unterdrückung der Lichtreflexe hochpräzise Polarisationsoptiken verwendet werden, die mit einer hochwertigen Entspiegelung versehen sind. Trotzdem treten im konfokalen Bild besonders bei schwach reflektierenden Proben starke intrinsische Lichtreflexe auf, welche sich störend auf die Messung auswirken.

Fig. 2 zeigt die von uns entwickelte Anordnung zur räumlichen Trennung von Lichtreflexen und Nutzlicht: Der Strahlteilerwürfel (E) wird entgegen seiner üblichen Orientierung um den Winkel α gedreht. In unserer Anordnung beträgt der Winkel α etwa 7,5 Grad. Die Drehachse steht senkrecht zur Blattebene. Um den Detektor (3) und die Lochblende (2) in der ursprünglichen Orientierung belassen zu können, wird der einfallende Lichtstrahl (1) entsprechend dem Reflexionsgesetz um 2α gedreht.

Die an den Oberflächen B und C entstehenden Lichtreflexe stehen in einem Winkel von 2α zu der Ausbreitungsrichtung des Nutzlichtanteils (blau, strichpunktiert) und sind über einen räumlichen Filter separierbar. Durch diese Anordnung wird der Anteil der auf den Detektor treffenden Lichtreflexe des Strahlteilers gegenüber der ursprünglichen Anordnung erheblich reduziert. Durch eine Strahlfalle (4) wird nicht reflektiertes Licht ausgeblendet.

Fig. 3 zeigt die von uns entwickelte Anordnung zur räumlichen Trennung von Lichtreflexen und Nutzlicht in einer optimierten Geometrie mit den Bezeichnungen aus Fig.2: Der Strahlteiler wird so gefertigt, dass entsprechend des Einfallswinkels α die Kantenlängen so beschaffen sind, dass der im Material befindliche Reflexionswinkel an der strahlteilenden Schicht möglichst 90 Grad beträgt. In dieser Anordnung bilden einfallender, reflektierter und detektiert Strahl demzufolge orthogonale Winkel wie in der ursprünglichen Bauweise nach Fig.1. Die Geometrie des Strahlteilers ist so beschaffen, dass bei einem Brechungsindex von n

= 1,704 sich z.B. für eine Verkipfung von $\alpha = 7,5$ Grad ein Kantenlängenverhältnis A/B = C/D $\approx 1,17$ ergibt. Der Winkel β berechnet sich mit den oben angegebenen Werten nach Snellius zu $\beta = 45^\circ - \arcsin(\sin(\alpha)/n) \approx 40,6$ Grad.

Wie in Fig.2 stehen die an den Oberflächen B und C entstehenden Lichtreflexe in einem Winkel von 2α zu der Ausbreitungsrichtung des Nutzlichtanteils (blau, strichpunktiert) und sind über einen räumlichen Filter separierbar. Dadurch kann der Anteil der auf den Detektor treffenden Lichtreflexe des Strahlteilers gegenüber der ursprünglichen Anordnung erheblich reduziert werden. Die strahlteilende Schicht ist hierbei so angeordnet, dass sie dieselben Anforderungen wie bei den üblichen rechtwinkligen Anordnungen erfüllen muss. Durch diese Erfindung können also bewährte Strahlteilerschichten mit einer neuen Geometrie des Strahlteilers zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses eingesetzt werden, wodurch sich auch ein wesentlicher Beitrag zur Kostenreduzierung ergibt.

Fig. 4 zeigt eine weitere ergänzende Entwicklung zur Reduzierung der Intensität von intrinsischem Streulicht und Lichtreflexen durch die Ausblendung von Lichtanteilen des Beleuchtungsstrahls, die nicht als Nutzlicht dienen können. Im Allgemeinen beruht das Prinzip darauf, dass nur Licht in das Mikroskop eingekoppelt wird, welches für die Messung nutzbar ist. Da wir mit einer CCD- Kamera nur einen rechteckigen Bereich der Probe beobachten, sollte das beleuchtete Bildfeld ebenfalls rechteckig sein.

Das von der Lichtquelle (1) emittierte Licht gelangt durch eine rechteckige Blendenöffnung (2). Die Blendenöffnung wird mittels der Linse L1 (3) mit der Brennweite f1 und der Linse L2 (5) mit der Brennweite f2 mit der Vergrößerung $V=f2/f1$ auf die Zwischenbildecke (6) und somit auf die Probenoberfläche abgebildet. Durch die rechteckige Blendenöffnung (2) wird außerhalb des relevanten Probenbereichs auftreffendes Licht ausgebendet.

Die kreisförmige Blendenöffnung (4) dient zum Ausblenden von Lichtanteilen, welche die Eintrittspupille des Mikroskopobjektivs nicht treffen können. Das bedeutet eine Anpassung der numerischen Apertur der Beleuchtung an die der verwendeten Objektive. Um trotz dieser Blende eine ausreichend homogene Belichtungsintensität erreichen zu können, ist die Position dieser Blende wichtig.

In unserer Entwicklung befindet sich die oben beschriebene rechteckige Blende in der Brennebene der Linse L1 (3) und die Blende (4) mit dem Durchmesser d in deren Fourierebene, also in der rückwärtigen Brennebene der Linse L1. Die numerische Apertur des

transmittierten Lichts errechnet sich zu $NA = d / (2 f_2)$ und wird durch die Wahl des Blendendurchmessers an die bildseitige NA des verwendeten Objektivs angepasst. Der Durchmesser der Blendenöffnung bestimmt sich zu $d = 2 f_2 NA_{obj} / V$. Dabei ist V die Vergrößerung des verwendeten Objektivs und NA_{obj} dessen numerische Apertur. Wird ein Objektiv mit $V=20$ und $NA_{obj} = 0,46$ verwendet, kann man z.B. mit $f_2 = 120$ mm den Durchmesser $d = 5,5$ mm errechnen. Aus technischen Gründen setzen wir auch Blendendurchmesser ein, die von diesen Werten teilweise abweichen. Daraus ergibt sich eine geringfügige Fehlanpassung der Aperturen, die sich bis zu einem gewissen Grade nur wenig auf die Messresultate auswirkt.

Durch diese Blendenkombination kann man das Verhältnis von Nutz- zu Streulicht erheblich verbessern.

Fig. 5) zeigt den Strahlengang eines konfokalen Mikroskops mit Umlenkkoptik zur Beobachtung von Zylinderinnenflächen. Das horizontal liegende Objektiv (1) ist in ein horizontal liegendes Positionierelement (3), hier ein Piezostellelement, eingeschraubt. Durch ein Prisma (2) mit verspiegelter Hypotenuse wird der Strahl umgelenkt. Um Bauraum zu sparen, weicht der Reflexionswinkel um 6 Grad von der Senkrechten ab. Der Tubus (8) wird nahe der im Zwischenbild liegenden Nipkowscheibe (4) an den Mikroskopkörper (9) befestigt. Der Mikroskopkörper besteht im wesentlichen aus einer motorgetriebenen rotierenden Nipkowscheibe (4), einem Strahlteiler (5) sowie einer Lichtquelle (6) und einer CCD-Kamera (7).

Fig. 6) zeigt eine Prinzipskizze der Halterung und Justiereinrichtung zum Einbau des konfokalen Mikroskops in Zylinder. In den Zylinder (1) wird im Bereich der oberen 4 mm eine Klemmplatte (2) eingeklemmt. Diese besteht aus zwei Teilen, die man zum Klemmen auseinander spreizen kann. Beide Teile haben jeweils an der Unterseite zwei hervorstehende Nippel, um in den Zylinder hineingreifen zu können. Darauf ist eine verschiebbare Justierplatte (3) befestigt, womit man fokussieren kann. In zwei gegenüberliegende Gleitführungen (4) wird der Tubus (5) eingesetzt und geführt und kann bei Errichten der richtigen Eintauchtiefe mittels einer Klemmvorrichtung arretiert werden. An den Tubus ist ein horizontal liegender Piezoversteller (6) befestigt, der ein Objektiv (7) hält.

Patentansprüche:

- 1.) Verfahren in der konfokalen Mikroskopie zur computergesteuerten Erzeugung dreidimensionaler Oberflächenbilder zur räumlichen Trennung von Lichtreflexen eines Strahlteilerwürfels, der sich vor einer im Beleuchtungs- und Detektionsstrahlengang befindlichen Multi-pinhole-Anordnung befindet, wobei der Strahlteilerwürfel oder -quader entgegen seiner üblichen Verwendung gegen den Strahl gedreht ist.
- 2.) Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem zwischen der Beleuchtungsquelle und dem bidirektional benutzten Multipinhole befindlichen Strahlteilerwürfel, wobei die Oberflächen des Strahlteilerwürfels nicht senkrecht zum einfallenden Strahl stehen.
- 3.) Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem zwischen der Beleuchtungsquelle und dem bidirektional benutzten Multipinhole befindlichen Strahlteilerquader, wobei die Oberflächen des Strahlteilerquaders nicht senkrecht zum einfallenden Strahl stehen und die Geometrie so beschaffen ist, dass der Reflexionswinkel im Strahlteiler 90±3 Grad beträgt.
- 4.) Vorrichtung nach Anspruch 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Multipinhole eine rotierende Nipkowscheibe ist.
- 5.) Vorrichtung nach Anspruch 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Multipinhole eine Matrix aus Mikrospiegeln ist.
- 6.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlteiler polarisierend ist.
- 7.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlteiler dichroitisch ist.
- 8.) Verfahren in der konfokalen Mikroskopie zur computergesteuerten Erzeugung dreidimensionaler Oberflächenbilder zur Ausblendung nicht zur Probenbeleuchtung dienender Lichtanteile vor dem strahlteilenden Element im Beleuchtungsstrahlengang, wobei das Leuchtfeld an die Geometrie des Detektors angepasst wird und der Öffnungswinkel des Strahls an die Apertur der verwendeten Mikroskopobjektive angepasst wird.

- 9.) Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 8 mit einer zwischen der Lichtquelle und dem strahlteilenden Element liegenden Blendenanordnung.
- 10.) Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die rechteckige Blende ein quaderförmiger Lichttunnel mit einer rechteckigen Öffnung ist.
- 11.) Verfahren in der rechnergesteuerten konfokalen Mikroskopie zur Erzeugung dreidimensionaler Oberflächenbilder von Zylinderinnenflächen durch Verwenden einer Umlenkkoptik vor dem Objektiv.
- 12.) Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 11 mit einer vor dem Objektiv befindlichen Umlenkkoptik.
- 13.) Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkkoptik aus einem Reflexionsprisma besteht.
- 14.) Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkkoptik aus einem Oberflächenspiegel besteht.
- 15.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkkoptik den Strahl um 96 Grad umlenkt.
- 16.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkkoptik den Strahl um mehr oder weniger als 96 Grad umlenkt.
- 17.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv ein Standardobjektiv mit einer Abgleichlänge von 45 mm ist.
- 18.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv eine kürzere Abgleichlänge als 45 mm besitzt.
- 19.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv mit einem Piezosteilelement verfahren wird.
- 20.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv mit einem Schrittmotor verfahren wird.
- 21.) Vorrichtung zur Befestigung und Justage eines rechnergesteuerten konfokalen Mikroskops zum Einlassen in Zylinder zum Messen von Zylinderinnenflächen.
- 22.) Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Befestigungs- vorrichtung eine klemmende oder geschraubte Verbindung zum Zylinder besitzt.

- 23.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Mikroskop durch eine Linearführung in den Zylinder eingetaucht werden kann.
- 24.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das Mikroskop hinsichtlich der Eintauchtiefe durch die Linearführung justiert und fixiert werden kann.
- 25.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Befestigung oder die Justiereinrichtung eine Rotation um die Zylinderachse ermöglicht.
- 26.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Befestigung eine Justierung des Abstandes zwischen Objektiv und Zylinderinnenfläche, also ein Fokussieren, ermöglicht.

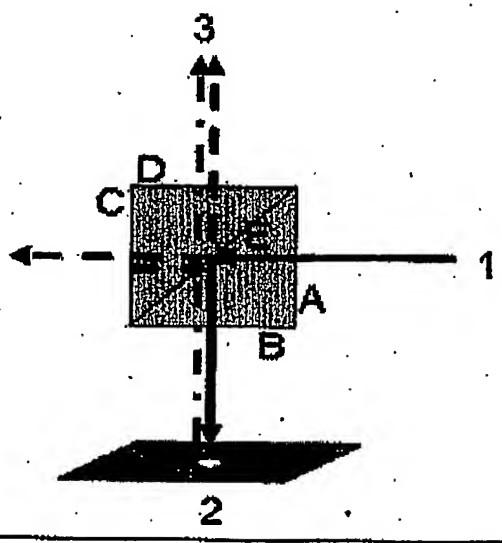


Fig.1

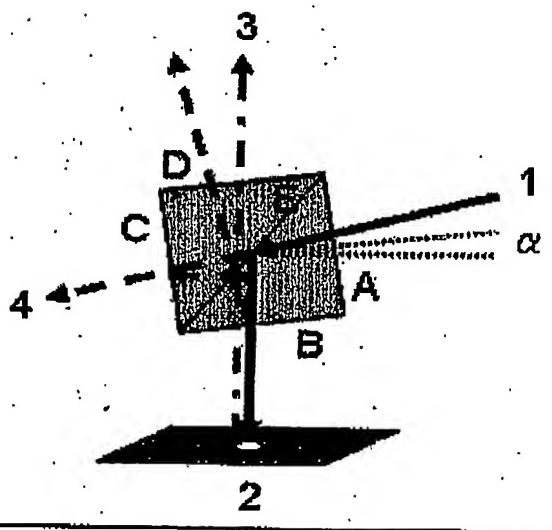


Fig. 2

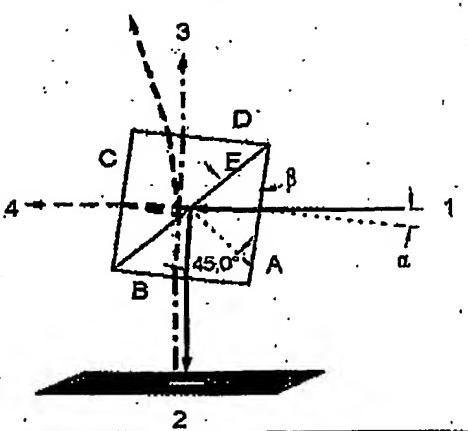


Fig. 3

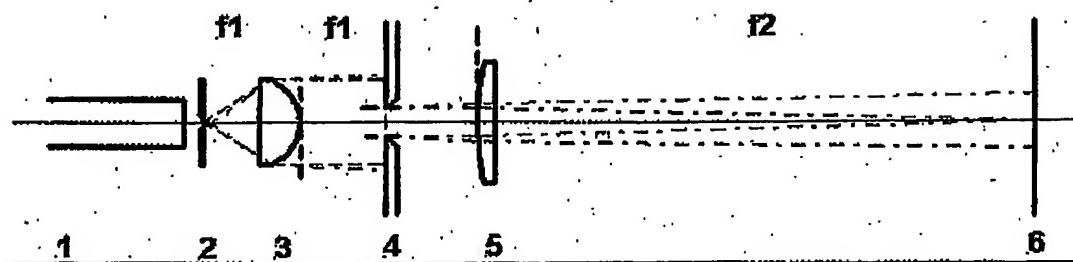


Fig. 4

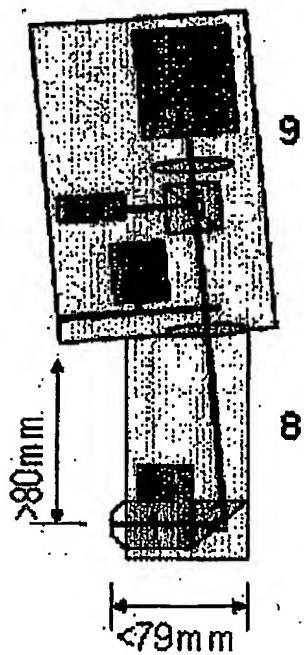


Fig.5

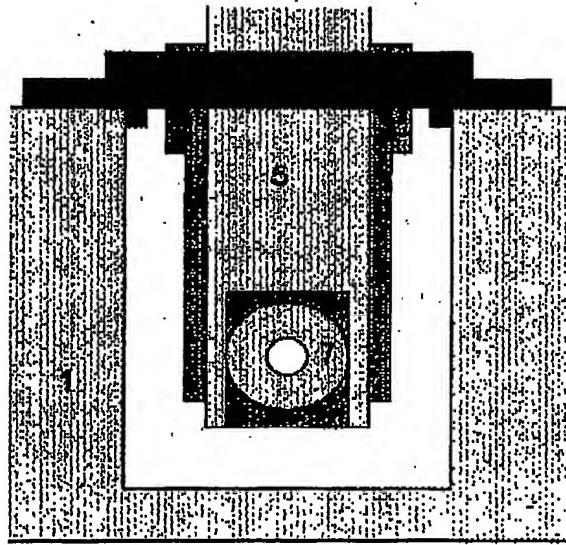


Fig.6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

BLACK BORDERS

IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT OR DRAWING

BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

GRAY SCALE DOCUMENTS

LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.